

## POTENSI MEMBRAN ULTRAFILTRASI UNTUK PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI

**N. Aryanti, H. I. Safitri, R. F. R. Astuti dan B. Pramudono**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang, 50275, Telp/Fax: (024)7460058

<sup>\*</sup>Penulis korespondensi: [nita.aryanti@gmail.com](mailto:nita.aryanti@gmail.com)

### Abstrak

*Eksplorasi minyak bumi memerlukan air injeksi yang menghasilkan air terproduksi. Air terproduksi mengandung komponen utama berupa minyak dan air dimana komponen minyak merupakan campuran hidrokarbon yang bersifat lethal maupun sublethal. Pengolahan air terproduksi pada umumnya menggunakan 2 tahap proses yang terdiri dari pengolahan awal dan pengolahan lanjut. Di sisi lain, membran ultrafiltrasi telah banyak digunakan untuk mengolah limbah berminyak dan mampu menurunkan konsentrasi minyak dan COD. Penelitian ini difokuskan pada pengolahan air terproduksi menggunakan membran ultrafiltrasi polyethersulphone (PES) 10 kDa dan kombinasi ozon. Karakterisasi air terproduksi menunjukkan konsentrasi COD, minyak, toluene, dan xylene melebihi standar baku mutu yang disyaratkan. Analisa membran menggunakan SEM menunjukkan bahwa membran polyethersulfone yang digunakan adalah membran asimetrik. Pengujian kinerja dilakukan dengan mengetahui profil fluks selama 120 menit dan rejeksi (total oil content, COD, benzene, toluene, xylene) untuk mengetahui karakteristik permeal hasil pengolahan air terproduksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran ultrafiltrasi yang digunakan mampu merejeksi COD sebesar 96,8%, total oil content sebesar 99,9%, toluene sebesar 83% dan xylene sebesar 82%.*

**Kata kunci:** ultrafiltrasi; limbah; air terproduksi

### PENDAHULUAN

Limbah eksplorasi minyak bumi yang disebut *produced water* (air terproduksi) memiliki kandungan bahan organik dan anorganik yang berpotensi sebagai limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) yang berpengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Pada kegiatan eksplorasi, 80 juta barrel/hari minyak mentah akan dihasilkan 250 juta barrel/hari *produced water* dengan kadar COD 1220 mg/L, sulfida terlarut 2 mg/L, ammonia 10-300 mg/L dan phenol 0,009-23 mg/L (Fakhrul'l-Razi *et al.*, 2009). Konsentrasi tersebut melebihi standar baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 tahun 2010 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan / atau kegiatan minyak dan gas serta panas bumi. Peraturan tersebut menetapkan bahwa konsentrasi maksimum yang diperbolehkan untuk kadar COD 200 - 300 mg/L, minyak dan lemak 25 – 50 mg/L, sulfida terlarut 0,5 mg/L, ammonia 5 mg/L, dan phenol 2 mg/L.

Pengolahan limbah eksplorasi *produced water* telah dilakukan diantaranya dengan cara biologis, yaitu biodegradasi komponen hidrokarbon menggunakan mikroorganisme (Hommel, 1990), adsorpsi komponen organik terlarut dengan karbon aktif (Doyle and Brown, 2000), penggunaan cyclones (Knudsen *et al.*, 2004), koagulasi dan flokulasi (Garbut, 1997). Teknologi membran, khususnya ultrafiltrasi dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah eksplorasi minyak bumi. Ultrafiltrasi sudah pernah digunakan untuk pengolahan umpan yang mengandung minyak komponen minyak bumi seperti *drawing oil* (Gryta *et al.*, 2001), emulsi *tasfalout 22B oil* (Belkacem *et al.*, 2006).

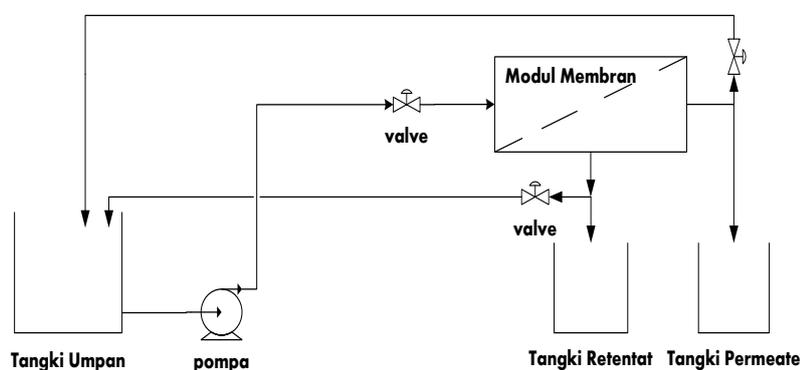
Dalam pengolahan limbah minyak bumi untuk mereduksi kadar BTEX yang terkandung di dalamnya telah digunakan teknologi ozonisasi. BTEX adalah senyawa berbahaya yang merupakan isomer dari xylene yang terkandung di dalam produk-produk petroleum seperti bensin, solar, dan pelumas. BTEX dapat direduksi hingga 90% setelah dilakukan ozonisasi selama 60 menit (Silharova *et al.*, 2012). Ozon juga mampu mereduksi senyawa ester, eter, olefin dan alkana hingga 39,34%. Selain itu setelah ozonisasi limbah petroleum terdapat senyawa baru yaitu asam, amina dan aldehida. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar senyawa organik dalam petroleum dapat dioksidasi menjadi produk intermediate yang lebih kecil dan kurang lebih 35% senyawa organik tersebut mengalami dekomposisi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Zhu *et al.*, 2010).

Penggunaan membran ultrafiltrasi dalam pengolahan limbah produced water diharapkan mampu mengurangi konsentrasi senyawa berbahaya yang terkandung di dalamnya. Berdasarkan analisa bahwa ozon mampu mengoksidasi senyawa-senyawa yang terkandung di dalam minyak bumi maka dalam penelitian ultrafiltrasi dikombinasikan dengan ozonisasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap konsentrasi senyawa berbahaya yang terkandung di dalam umpan maupun permeate.

## METODE PENELITIAN

Umpan produced water (*Field* Kawengan Cepu) dikarakterisasi untuk mengetahui parameter-parameter yang terdiri dari Chemical Oxygen Demand (COD), konsentrasi minyak, benzene, toluene, xylene, fenol, ammonia, dan pH Analisis COD dilakukan dengan *standar method*, konsentrasi minyak, benzene, toluene, xylene dengan gas chromatography, analisis ammonia dengan metode SNI 06-6989-18-2009, dan pH dengan pH meter. Selanjutnya umpan dilewatkan melalui membran *flat sheet* Polyethersulfone 10 kDa (PES 1) dan 20 Kda (PES 2) (NADIR Filtration, Jerman) yang ditempatkan dalam suatu modul membran, dengan luas area membran 13,84 cm<sup>2</sup>. Filtrasi dilakukan dengan tekanan, 1 bar selama 55 menit. Selain itu juga digunakan ozon sebagai *pre-treatment* terhadap umpan dengan laju alir 2 L/menit selama 5 menit.

Untuk mengetahui kinerja membran, dilakukan analisis fluks pada berbagai variabel (ukuran pori membran dan ozonisasi) dan rejeksi terhadap COD, konsentrasi minyak, toluene, dan xylene. Pengukuran fluks dilakukan dengan menghitung volume permeate selama 5 menit, dengan waktu ultrafiltrasi selama 55 menit. Rejeksi dilakukan dengan membandingkan konsentrasi COD, TOC, toluene, dan xylene dari umpan dan permeate yang dihasilkan. Gambar 1 menunjukkan skematika peralatan ultrafiltrasi yang digunakan.



Gambar 1. Skematika Peralatan Ultrafiltrasi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Produced Water

Hasil karakterisasi produced water yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Produced Water yang digunakan

Parameter	Nilai
Chemical Oxygen Demand (COD)	1872 mg/L
Konsentrasi minyak	931,01 mg/L
Benzene	< 0,08 mg/L
Toluene	0,37 mg/L
Xylene	0,29 mg/L
Fenol	< 0,03 mg/L
Ammonia	0,22 mg/L
pH	8

Sedangkan standar baku mutu air terproduksi sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 dapat dilihat pada Tabel 2.

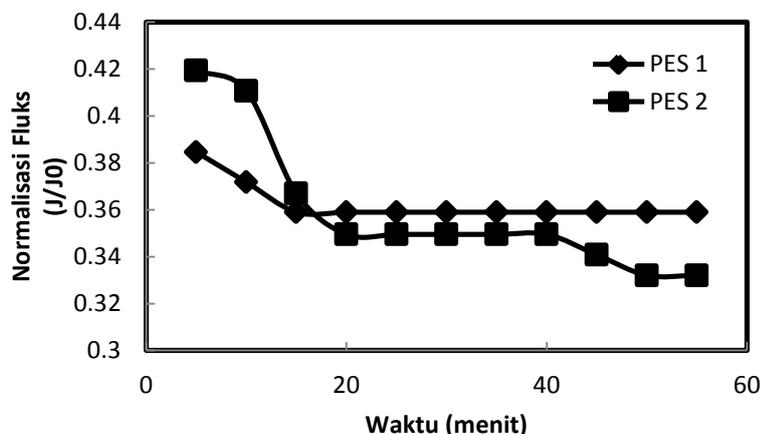
Tabel 2. Baku Mutu Kegiatan Air Limbah Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dari Fasilitas Darat (Onshore)

NO.	JENIS AIR LIMBAH	PARAMETER	KADAR MAKSIMUM
1.	Air Terproduksi	COD	200 mg/L
		Minyak dan Lemak	25 mg/L
		Sulfida Terlarut (sebagai H <sub>2</sub> S)	0,5 mg/L
		Amonia (sebagai NH <sub>3</sub> -N)	5 mg/L
		Phenol Total	2 mg/L
		Temperatur	40 <sup>0</sup> C
		pH	6 – 9
		TDS*	4000 mg/L

Untuk parameter konsentrasi fenol, ammonia dan pH nilainya telah sesuai dengan baku mutu pada Tabel 2. Sedangkan Chemical Oxygen Demand (COD), konsentrasi minyak, nilainya masih melebihi standar baku mutu sehingga dilakukan karakterisasi permeat terhadap COD dan konsentrasi minyak. Selain itu untuk kadar benzene yang sudah terlalu kecil yaitu < 0,08 mg/L, maka tidak dilakukan karakterisasi permeate terhadap benzene, tetapi tetap dilakukan karakterisasi permeate untuk toluene dan xylene.

### Profil Fluks

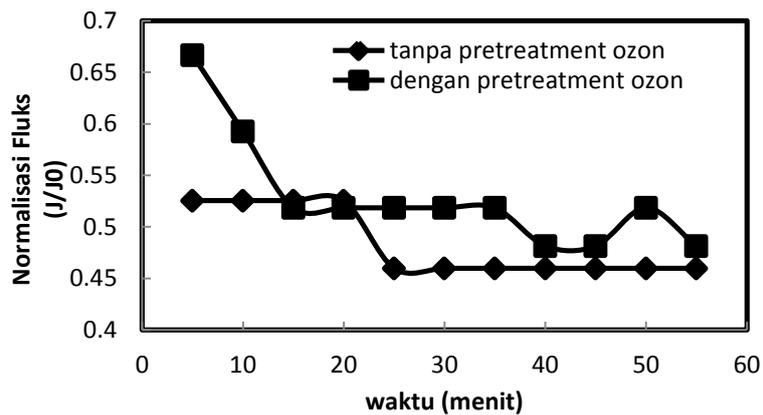
Gambar 3 menunjukkan profil normalisasi fluks terhadap waktu pada tekanan 1 atm untuk variasi ukuran pori membran.



Gambar 3 Profil fluks terhadap waktu untuk tekanan 1 bar dengan variasi ukuran pori membran PES

Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa penurunan fluks untuk membran PES 2 (20 kDa) lebih besar dibandingkan dengan membran PES 1 (10 kDa) dengan prosentase penurunan fluks sebesar 8,7%, sedangkan penurunan fluks untuk membran PES 1 adalah sebesar 2,5%. Hal ini berkaitan dengan ukuran pori membran. Ukuran pori membran PES 1 lebih kecil dibandingkan dengan membran PES 2. Penurunan fluks dapat disebabkan oleh adanya penyumbatan (fouling) pada pori-pori membran. Semakin kecil ukuran pori membran, cairan yang dapat melewati membran (permeat) lebih sedikit. Sebagian besar partikel-partikel dalam umpan produced water berukuran pori jauh lebih besar dari ukuran pori membran PES 1. Partikel-partikel ini terakumulasi pada permukaan membran pada saat awal ultrafiltrasi tanpa menutup rapat pori-pori membran. Sedangkan pada membran PES 2, partikel-partikel dalam umpan menutup rapat-rapat pori membran dan terakumulasi pada permukaan membran (Wang *et al.*, 2012).

Pengaruh ozonisasi pada umpan dapat dilihat pada Gambar 4.

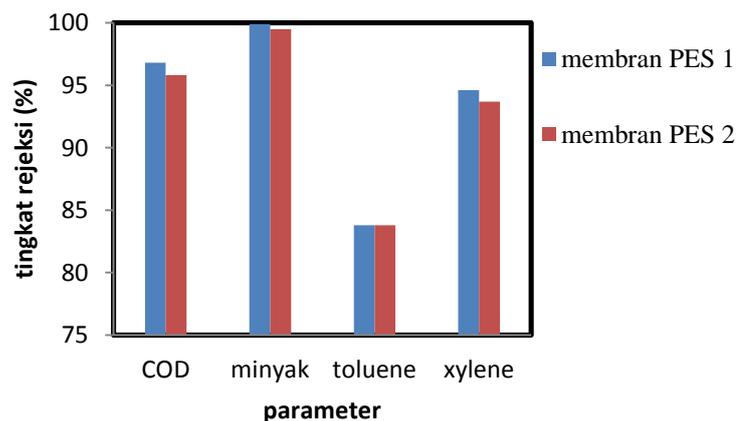


Gambar 5. Profil fluks terhadap waktu untuk membran PES 1, tekanan 1 bar dengan variasi ozonisasi umpan

Gambar 5 menunjukkan penurunan fluks untuk membran PES 1 dengan variasi pre-treatment ozon lebih besar dibandingkan tanpa pretreatment ozon dengan prosentase penurunan fluks sebesar 18,5%, sedangkan penurunan fluks untuk membran PES 1 tanpa pre-treatment adalah sebesar 2,5%. Dengan ozonisasi, sebagian besar senyawa-senyawa organik dalam produced water teroksidasi menjadi produk *intermediate* yang lebih kecil dan kurang lebih 35% senyawa organik tersebut selanjutnya terdekomposisi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Zhu *et al.*, 2010). Selain itu dengan ozonisasi limbah petroleum juga dapat membentuk senyawa baru yaitu asam, amina, dan aldehida. Adanya senyawa-senyawa ini dapat mempengaruhi laju fouling pada membran saat proses filtrasi berlangsung. Laju fouling membran yang lebih tinggi dapat menyebabkan penurunan prosentase fluks semakin besar.

### Rejeksi

Kinerja membran ultrafiltrasi juga ditentukan dari kemampuan rejeksi terhadap konsentrasi minyak, COD, toluene dan xylene sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

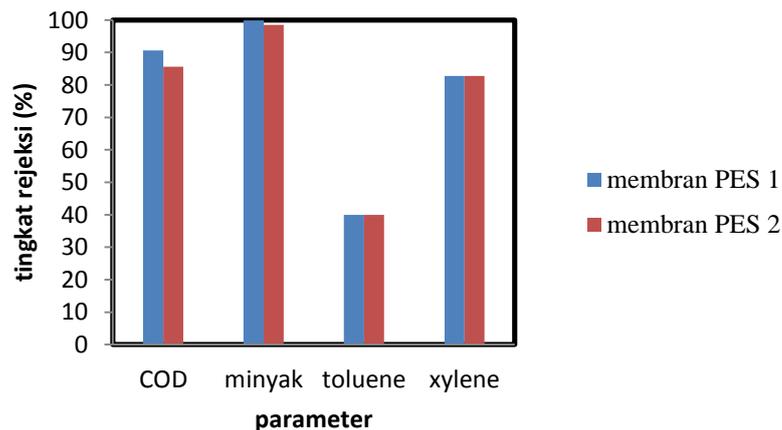


Gambar 6. Rejeksi COD, minyak, toluene dan xylene untuk ultrafiltrasi membran PES 1 dan 2 tanpa ozonisasi

Untuk proses ultrafiltrasi tanpa treatment ozon, membran PES 1 mampu merejeksi COD sebesar 96,8%, minyak 99,9%, toluene 83,78% dan xylene 94,6%. Sedangkan membran PES 2 mampu merejeksi COD sebesar 95,8%, minyak 99,5%, toluene 83,78 %, dan xylene 93,7%.

Dari Gambar 6 tingkat rejeksi komponen pada membran PES 1 lebih tinggi jika dibandingkan dengan membran PES 2. Hal ini dikarenakan ukuran pori membran PES 1 lebih kecil dibandingkan membran PES 2. Tingkat rejeksi menyatakan kemampuan membran untuk merejeksi atau menghilangkan salah satu senyawa yang terdapat dalam umpan. Ukuran pori-pori membran yang lebih besar menyebabkan cairan umpan dapat lebih

leluasa masuk dan melewati pori membran sehingga senyawa-senyawa yang sebenarnya ingin direjeksi pada umpan masih terikut dalam permeat dengan jumlah yang lebih besar (Suseno dkk., 2003).



Gambar 8. Rejeksi COD, minyak, toluene dan xylene untuk proses filtrasi membran PES 1 dan 2 dengan pre-treatment ozonisasi umpan

Untuk proses ultrafiltrasi dengan ozonisasi umpan, membran PES 1 dapat merejeksi COD sebesar 90,6%, minyak 99,9%, toluene 40% dan xylene 82,8%. Sedangkan membran PES 2 mampu merejeksi COD sebesar 85,6%, minyak 98,5%, toluene 40% dan xylene 82,8%. Dengan ozonisasi umpan, kandungan senyawa organik kompleks akan terurai terlebih dulu menjadi senyawa organik yang lebih sederhana, sehingga kandungan minyak yang terikut dalam permeate menjadi lebih sedikit (Morrow et al., 1999). Persentase rejeksi pada membran PES 1 lebih tinggi dibandingkan membran PES 2 dapat disebabkan karena ukuran pori membran PES 1 (10 kDa) lebih kecil dari membran PES 2 (20 kDa) (Suseno dkk., 2003).

## KESIMPULAN

Berdasarkan data karakteristik awal produced water, parameter COD (Chemical Oxygen Demand), konsentrasi minyak, toluene dan xylene konsentrasinya masih melebihi batas standar baku mutu air limbah yang diijinkan sehingga dilakukan pengujian permeat ultrafiltrasi terhadap parameter tersebut. Membran ultrafiltrasi yang digunakan adalah *flat sheet* polyethersulfone (PES) dari NADIR, Jerman, dengan ukuran pori 10 kDa (PES 1) dan 20 kDa (PES 2).

Profil fluks permeat menunjukkan penurunan sebesar 2,5% untuk membran PES 1 dan 8,7% untuk membran PES 2. Membran PES 1 mampu merejeksi 90% COD, 99,5% minyak, 83% toluene, dan 82% xylene. Sedangkan membran PES 2 mampu merejeksi 92% COD, 99% minyak, 83% toluene, dan 80% xylene. Ozonisasi digunakan untuk mengoksidasi sebagian besar senyawa-senyawa organik menjadi produk yang lebih kecil. Dengan adanya ozonisasi, lebih meningkatkan tingkat kemurnian permeat yang dihasilkan. Ozonisasi pada umpan akan meningkatkan rejeksi COD, membran PES yang digunakan mampu merejeksi sebesar 96% COD, 99% minyak, 40% toluene dan 80% xylene.

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa ultrafiltrasi dapat digunakan dalam pengolahan produced water. Membran ultrafiltrasi PES 10 dan 20 kDa dapat mereduksi parameter minyak, COD, benzene dan xylene. Selain itu, ultrafiltrasi juga dapat dikombinasikan dengan ozonisasi umpan untuk mendapatkan permeat yang lebih murni.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian Strategis Tahun Anggaran 2013.



#### DAFTAR PUSTAKA

- Belkacem, M., K. Bensadok., G. Nezzal, (2006), Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation, *Journal of Desalination*.
- Doyle, D.H., A.B. Brown, (2000), Produced Water treatment and hydrocarbon removal with organoclay, in: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas, USA.
- Fakhru'l- Razi, A., Alireza P., Luqman Chuah A., Dayang Radiah A. B., Sayed Siavash M., Zurina Z.A., (2009), Review of technologies for oil and gas produced water treatment, *Journal of Hazardous Materials*, 170, pp. 530-551.
- Garbutt, C.F., (1997), Innovative treating processes allow steam flooding with poor quality oilfield water, in: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, USA.
- Gryta, M., K. Karakulski, A.W Morawski, (2001), Purification of oily wastewater by hybrid uf/md, *Wat. Res.*, 1 35, pp. 3665-3669.
- Hommel, R.K., (1990), Formation and physiological role of biosurfactants produced by hydrocarbon-utilizing microorganisms, *Biodegradation*, 1, pp. 107-119.
- Knudsen, B.L., M. Hjelsvold, T.K. Frost, P.G. Grini, C.F. Willumsen, H. Torvik, (2004), Meeting the zero discharge challenge for produced water, in: Proceeding of the Seventh SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Calgary, Alberta, Canada.
- Morrow, L. R., W. K. Martir, Hossein Aghazeynalli, D. E. Wright, (1999), Process of treating produced water with ozone, *U.S Patent 5868945*
- Silharova, K., Jan Derco, Peter, T., Maria, V., Michal, M., (2012), Reducing of organic petroleum compounds in water by ozonation/UV processes, 45th International Petroleum Conference. Bratislava, Republik Slovakia.
- Suseno, Natalia, Tokok A., (2003), Sintesis dan optimasi membran selulosa asetat pada proses mikrofiltrasi bakteri", *Teknik Kimia Universitas Surabaya*, vol 11, No.2.
- Wang, C., Qiang Li, Huang Tang, Daojiang Yan, Wei Zhou, Jianmin Xing, Yinhua Wan, (2012), Membrane fouling mechanism in ultrafiltration of succinic acid fermentation broth, *Bioresources Technology*, 116, pp. 366-371.
- Zhu, M., Haiyan, W., Hongbo Su., Xiudong You., Wenli Jin., (2010), Study on oxidation effect of ozone on petroleum-based pollutants in water, *Modern Applied Science* (4) : 1.